RÉPUBLIQUE D'HAÏTI
DINEPA
Direction Nationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement

DIRECTIVE TECHNIQUE

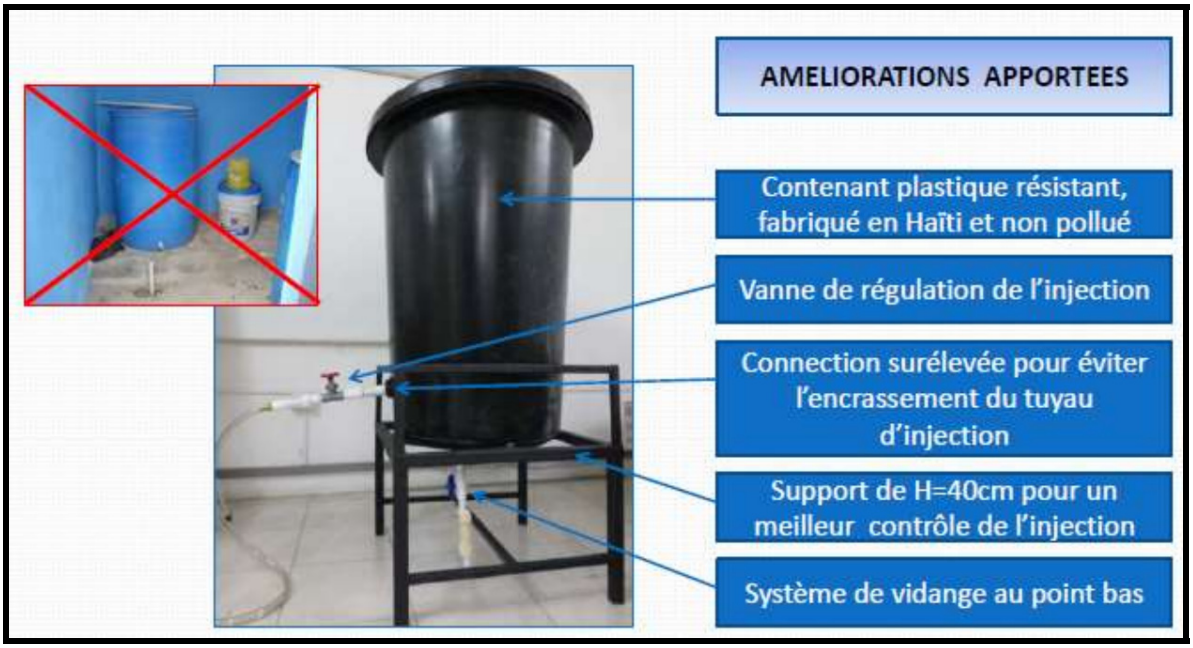
Procédés de désinfection et postes de dosage

Code : 1.2.2 DIT 1

Date de rédaction : vendredi 09 mars 2012

Version : 9 septembre 2013

☑ Version validée par le COPIL



Note aux lecteurs

Les prescriptions techniques générales s'appliquent aux opérations à réaliser en Haïti et relevant du champ de compétence de la Direction Nationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement (DINEPA). Elles constituent un référentiel, certaines à portée réglementaire, nationale, technique et sectorielle, d'autres ayant un rôle d'information et de support complémentaire.

Les documents à portée réglementaire, nationale, technique et sectorielle sont :

- **Les Fascicules Techniques** indiquant les principes obligatoires et les prescriptions communes à une sous thématique technique ;
- **Les Directives Techniques** prescrivant les règles minimales imposées pour la conception et la réalisation ainsi que la gestion d'ouvrages spécifiques.

Tout propriétaire et/ou réalisateur est tenu de respecter au minimum les prescriptions qui y sont indiquées. Toute dérogation devra faire l'objet d'une autorisation au préalable et par écrit de la DINEPA.

Les documents ayant un rôle d'information et de support complémentaire, sont :

- Les fiches techniques et Guides techniques présentant ou décrivant des ouvrages ou des actions dans les différentes thématiques ;
- Les modèles de règlements d'exploitation ou de gestion ;
- Les modèles de cahiers des clauses techniques particulières, utilisables comme « cadres - type » pour les maîtres d'ouvrages et concepteurs ;
- Divers types de modèles de documents tels que procès verbaux des phases de projet, modèles de contrat ou de règlement, contrôle de bonne exécution des ouvrages, etc.

Ces documents ayant un rôle d'information et de support complémentaire sont compatibles avec la réglementation imposée et peuvent préciser la compréhension des techniques ou fournir des aides aux acteurs.

Le présent référentiel technique a été élaboré en 2012 et 2013 sous l'égide de la DINEPA, par l'Office International de l'Eau (OIEau), grâce à un financement de l'UNICEF.
Dépôt légal 13-11-456 Novembre 2013. ISBN 13- 978-99970-51-15-8.
Toute reproduction, utilisation totale ou partielle d'un document doit être accompagnée des références de la source par la mention suivante : *par exemple* « extrait du référentiel technique national EPA, République d'Haïti : *Fascicule technique/directives techniques/etc. 2.5.1 DIT1* (projet DINEPA-OIEau-UNICEF 2012/2013) »

Sommaire

1. Note préliminaire 4
2. Chlore 5
2.1. Précautions d'usage 5
2.2. Chlore total et chlore résiduel : définitions 6
3. La désinfection ponctuelle 6
3.1.1. A partir de chlore sous forme liquide 6
3.1.2. A partir de tablettes de chlore 7
4. La désinfection continue et les postes de dosage 7
4.1. Détermination du volume minimal nécessaire pour un poste de dosage 8
4.2. Chloration par pompe doseuse 9
4.2.1. Avantages : 9
4.2.2. Inconvénients : 9
4.3. Chloration au « drum » 9
4.3.1. Matériel nécessaire 10
4.3.2. Fabrication 10
4.3.3. Usage 10
4.3.4. Entretien 10
4.4. Chloration au seau 11
4.5. Modèle d'hypochlorateur développépar la DINEPA 12
4.6. Calculs de débit de solution de chlore 12
4.7. Le dosage du chlore résiduel 12
5. Désinfection aux ultraviolets 13
5.1. Principe 13
5.2. Avantages/inconvénients 13
5.2.1. Avantages: 13
5.2.2. Inconvénients: 13
5.3. Recommandations minimales 14
5.4. Entretien et précautions d'usage 14
6. Désinfection à l'ozone 14
6.1. Principe 14
6.2. Avantages/inconvénients 15
6.2.1. Avantages: 15
6.2.2. Inconvénients: 15
6.3. Entretien 15
7. Sources 15
8. Lexique 15
Annexe 1 : Formes de chlore présentes en Haïti 17
Annexe 2 : Potabilisation d'eau 18
Annexe 3 : Comparaison des dispositifs de désinfection existants en Haïti, extraits du rapport « Chloration de l'Eau des Systèmes d'Adduction en Eau Potable localisés dans le Milieu Rural en Haïti », DINEPA - Coopération Suisse, juin 2013 19
Annexe 4 : Désinfection ponctuelle en situation d'urgence 19

1. Note préliminaire

L'eau brute doit subir plusieurs traitements pour pouvoir être distribuée. La désinfection est le traitement le plus incontournable puisque toutes les eaux naturelles sont potentiellement contaminées par des bactéries, virus ou parasites. En particulier dans le cas d'une zone à risque de choléra, la désinfection doit être effectuée de manière systématique pour rendre l'eau propre à la consommation.

Le désinfectant généralement retenu est le chlore. Son dosage doit être précis. Si la dose à injecter dans un bokit pour le traitement de l'eau à domicile peut être facilement contrôlée par un packaging adapté, le dosage pour des réseaux d'eau peut s'avérer plus problématique. Ceci peut se faire dans certains cas via des postes de dosage du chlore. Par ailleurs, il faut protéger la ressource, on se réfèrera alors à la Directive Technique relative à la Protection des captages ou des forages (1.2.1 DIT2).

Si une source d'eau brute n'est pas suffisamment de bonne qualité (> 30 NT, contamination bactériologique ou chimique forte), la stratégie de la DINEPA est d'abord de rechercher une autre source d'eau de bonne qualité proche avant de penser à des traitements.

Les normes de qualité de l'eau de boisson en vigueur en Haïti avant 2010 sont à ce jour en cours de révision [*Code d'Hygiène du milieu DHP 1990*]. Nous retiendrons les limites suivantes comme référence pour le présent document. La référence à retenir sera la norme sur l'eau de boisson du Ministère de la Santé Publique et de la Population (MSPP) lorsqu'elle sera publiée. Dans l'intervalle, les directives de l'OPS /OMS nous serviront de guide.

Ressource		
Disponibilité	Distance à parcourir par l'usager jusqu'au point d'eau < 1 km	
Quantité	> 20 litres / jour / habitant pour l'eau de boisson	
Physico-chimiques		
Paramètre	*Valeur maximale admissible*	*Unité*
Turbidité	< 25	NTU
pH	6<pH<8,5	
Chlore résiduel*	min 0,5 - max 2	mg/l [Cl_{actif}]
Sulfates	400	mg/l [SO_4]
Nitrates	50	mg/l [NO_3]
Nitrites	3	mg/l [NO_2]
Arsenic	0,01	mg/l [As]
Fluor	1,5	mg/l [F]
Manganèse	0,4	mg/l [F]
Plomb	0,01	mg/l [Pb]
Bactériologiques		
Paramètre	*Valeur maximale admissible*	*Unité*
Coliformes	0	Unité pour 100 ml
Escherichia coli	0	Unité pour 100 ml

*conditions « normales » de chloration : temps de contact du chlore avant utilisation de l'eau traitée de 30 minutes ; pH de l'eau brute inférieur à 8 ; turbidité de l'eau traitée inférieure à 5 NTU.

Lorsque la turbidité se situe entre 5 NTU et 30 NTU, l'eau est turbide, elle doit être traitée par filtration et/ou décantation avant de subir une désinfection.

Lorsque l'eau est fortement turbide (NTU > 30), un traitement par décantation doit être effectué, puis suivi par une filtration, et une désinfection. Si elles ne sont pas possibles, il est recommandé de rechercher une nouvelle source d'eau.

La conductivité maximale admise est de 1400 µ/S/cm ou 1000 mg/L de solides dissous. Il faut préciser que cette valeur est une valeur guide. La conductivité n'est pas, en soi, un paramètre présentant un risque pour la santé. Toutefois, une conductivité élevée peut modifier le goût de l'eau et donc inciter

les usagers à changer de ressource pour leur eau de boisson, ou encore indiquer une eau qui laissera des dépôts – calcaire notamment – et « moussera » peu avec du savon/détergent.

Une modification de la conductivité doit, en revanche, être rapidement mesurée et comprise : elle peut montrer par exemple une modification de l'origine de l'eau (intrusion d'une eau parasite, modification de l'aquifère) ou encore l'intrusion d'une quantité importante d'ions, ce qui peut apparaître dans le cas de la formation d'un biseau salé.

On trouve le chlore sous plusieurs formes en Haïti, notamment pour une utilisation directement au bokit ou au gallon. Ces formes sont présentées en Annexe 1.

2. Chlore

Le chlore est un agent désinfectant d'une très grande disponibilité et d'une grande simplicité d'utilisation. Il détruit efficacement et rapidement les virus, les bactéries et autres micro-organismes, ainsi que les champignons et amibes, mais est moins efficace pour les kystes ou parasites. Il a l'inconvénient de créer des composés chlorés indésirables, tels que les chloramines. L'effet des chloramines et organochlorés sur la santé humaine fait l'objet d'un débat mais il semble que leur impact sur la santé humaine soit faible. En revanche les chloramines sont responsables de « l'odeur de chlore » et du « goût de chlore » que l'on cherche à éviter pour l'eau distribuée.

Après son point d'injection – un réservoir par exemple, il assure que l'eau reste désinfectée, même en cas de pollutions (poussières, fuites, travaux sur la conduite par exemple), c'est ce que l'on appelle l'effet rémanent. Le chlore ne nécessite pas de source d'énergie importante pour désinfecter (contrairement aux ultraviolets ou à l'ozone), et est relativement bon marché.
Il peut être utilisé pour la désinfection de locaux ou de matériels, pour l'hygiène corporelle ou pour le traitement de l'eau de boisson.

On peut le trouver sous forme solide (hypochlorite de calcium ou HTH), sous forme liquide (eau de Javel), en solutions de chlore plus faiblement dosées pour un usage familial ou en solutions fabriquées localement (par dilution ou avec une électrode). La forme solide, stockée à l'abri de la lumière, se conservera très bien (2 % de perte par an environ). La forme liquide a une stabilité limitée dépendant des conditions de stockage (à l'abri du soleil et de la chaleur) et de l'ajout d'hydroxyde de sodium.

2.1. Précautions d'usage

Pour une forme solide de chlore (HTH, hypochlorite de calcium) en poudre ou en grains, il faut porter des gants, un masque, et des lunettes de protection pour toute manipulation, que ce soit pour l'utilisateur ou le producteur. Dans le cas de tablettes, seuls des gants de protection sont nécessaires.

Le chlore en solution concentrée peut causer des brûlures, en particulier des risques de brûlure irréversible aux yeux. **Le port de gants et de lunettes de protection est obligatoire**.

La préparation ou le stockage ne doivent JAMAIS se faire dans un récipient métallique, cela inactive le chlore. Dans tous les cas, le lieu de préparation ou de stockage doit être bien ventilé, à l'abri du soleil, de la chaleur, et le récipient doit être bien fermé et identifié.

L'eau à traiter doit **impérativement avoir une turbidité inférieure à 5 NTU** (idéalement, inférieure à 1 NTU) et avoir un pH compris entre 6 et 8. Cette mesure du pH doit être effectuée lors de l'établissement d'un point d'eau, et une fois par an au minimum, par pHmètre ou bandelettes. Si l'eau est trouble, il conviendra de la filtrer.

Tout récipient contenant du chlore doit être clairement identifié avec un feutre et une étiquette bien visible. On doit y indiquer :

- Concentration : Solution de chlore [A (2%) ou B (0,2%) ou C (0,05%), ou autre concentration fabriquée localement]
- Mode d'utilisation
- Une inscription d'avertissement en créole et en français : « Atansyon klowoks !, li pa pou bwè , pa kite timoun kanpe pre li». « Attention, chlore ! Ne pas boire, ne pas laisser à portée des enfants »
- La date de fabrication de la solution de chlore ainsi que la date d'expiration
- Y ajouter l'image suivante, symbole clair de « danger » pour les non lecteurs :

2.2. Chlore total et chlore résiduel : définitions

Le chlore est utilisé généralement sous forme de solution de OCl^- et de HOCl en concentrations diverses (cf. Directive Technique sur la Préparation des solutions chlorées1.2.2 FIT2). Lorsqu'il est en contact avec la matière organique – la pollution bactérienne par exemple – il réagit et forme des composés dits organochlorés – matière organique/chlore. On parlera alors de chlore lié, c'est-à-dire chlore présent dans l'eau mais qui n'est plus efficace pour la désinfection.

Le chlore non dégradé, reste disponible pour la désinfection, on parlera donc de chlore libre.
Le chlore total est la somme des deux puisqu'il représente la totalité du chlore présent dans l'eau traitée. On peut donc dire : **Chlore Total = Chlore libre + Chlore lié**

Le chlore libre est également appelé chlore résiduel. Le chlore résiduel permet de déterminer s'il y a suffisamment de chlore pour la désinfection de l'eau.

Le chlore résiduel (ou chlore libre) est la quantité de chlore qui reste libre dans l'eau après le traitement. Il donne un pouvoir de désinfection rémanent en cas de contamination secondaire. Il peut être mesuré facilement (Voir paragraphe 4.7).

3. La désinfection ponctuelle

Pour rendre de l'eau potable, il faudra lui ajouter du chlore, l'agiter, puis attendre 30 minutes avant de la consommer.

ATTENTION ! Le chlore ne pourra être efficace que si l'eau est claire et possède un pH compris entre 6 et 8. Si l'eau est trouble, il faudra donc d'abord la filtrer !

3.1.1. A partir de chlore sous forme liquide

Si l'on utilise de la solution B (0,2 %), on ajoutera 15 gouttes de solution à 1 L d'eau. Le chlore résiduel doit être entre 0.5 et 1 mg/L pour que l'eau soit considérée comme potable.

Le détail pour des volumes différents est présenté dans l'Annexe 2 : Potabilisation d'eau.

3.1.2. A partir de tablettes de chlore

Il est possible de désinfecter l'eau à l'aide de tablettes contenant du chlore, qui ont pour avantage d'avoir une durée de vie de l'ordre de 5 ans (contrairement au chlore en solution qui a une durée de vie très courte, de l'ordre de la semaine). Celles-ci sont fournies à des dosages différents : 3.5 mg, 8.5 mg, 17 mg, 33 mg, 67 mg, et 167 mg, et peuvent traiter des volumes d'eau allant de 1 à 25 litres, comme le montre le Tableau 1. Le dosage et le mode d'emploi doivent être fournis sur les feuillets donnés avec les tablettes..

Tableau 1 : Dosages de tablettes à utiliser pour rendre une eau potable

Quantité d'eau à traiter (L)	Situation normale (quantité à ajouter)	Situation d'urgence (urgence choléra par exemple)
1	3.5 mg	8.5 mg
4 - 5	17 mg	33mg
10	33 mg	67 mg
20 - 25	67 mg	167 mg

(Source : Medentech, (2011), *Dosages de pastilles Aquatabs*)

4. La désinfection continue et les postes de dosage

Il existe de nombreuses méthodes pour chlorer l'eau en continu, cela est nécessaire lorsqu'un réseau (même de taille réduite) délivre de l'eau à différents endroits. Pour tout réseau, l'eau devra être chlorée aussi près que possible du captage ou de la source qui fournit l'eau au réseau, de façon à bien avoir un temps de contact du chlore suffisant avec l'eau pour la désinfecter correctement (minimum 30 minutes).

Quelle que soit la méthode utilisée, le contenant de la solution de chlore doit pouvoir au minimum délivrer du chlore pendant 25 heures sans se vider, de façon à pouvoir être rempli à nouveau chaque jour, avec une marge de sécurité d'une heure.

La DINEPA a développé un modèle de poste de chloration. Ce modèle, dont le principe est décrit au chapitre 4.5 a pour objectif de répondre aux limites des autres méthodes de chloration qui sont notamment :

- débit d'injection non constant
- bouchage fréquent des conduites d'injection de solution de chlore
- réglage et maintenance parfois compliquée et ne pouvant être réalisée par des opérateurs locaux
- rupture de la chloration en cas de panne électrique
- etc.

Il faut noter que la chloration peut s'effectuer à l'aide d'une pompe doseuse (nécessité de courant électrique), par aspiration constante, par « drum » ou avec un seau. Ces méthodes sont développées dans des fiches techniques « Postes de chloration », montrant un exemple de chaque méthode.

Attention : Le système de dosage, quel qu'il soit, ne devra jamais comporter de partie métallique entrant en contact avec le chlore.

4.1. Détermination du volume minimal nécessaire pour un poste de dosage

Rappels sur les concentrations[1] :

1 %	=	10g / L
0.1 %	=	1 g / L
0.01 %	=	0.1 g / L
0.001 %	=	0.01 g / L (10 mg/L)
0.0001 %	=	0.001 g/ L (1 mg/L)

On nomme solution A une solution de concentration 2 % de chlore actif[2].
On nomme solution B une solution de concentration 0,2 % de chlore actif.
On nomme solution C une solution de concentration 0,05 % de chlore actif.
L'eau de Javel Industrielle est souvent à une concentration de +/- 4 % de chlore actif (très variable selon les conditions de stockage du produit).

Pour choisir un dosage de chlore à partir d'une solution mère de chlore de concentration Cm (exprimé en % de chlore actif), on peut utiliser la relation suivante :

$$Cf \times Vf = Cm \times Vm$$

Avec
Cf : la concentration de la solution finale (ici la concentration que l'on veut avoir dans notre eau à traiter)
Vf : le volume de la solution finale (le volume d'eau à traiter)
Cm : la concentration de la solution mère de chlore
Vm : le volume de solution mère à ajouter.

La concentration finale et la concentration de solution mère devront avoir la même unité, si une concentration est exprimée en % de chlore actif, toutes les concentrations doivent s'exprimer en % (idem si exprimé en mg/L).
Le volume de solution mère et le volume de solution finale devront être exprimés dans la même unité (si l'une est en mL l'autre doit l'être également, par exemple).
Par exemple, si la solution mère est à 2% de concentration, on souhaite obtenir une concentration dans l'eau à traiter de 5 mg/L, soit 0,0005%. Pour traiter 10 L d'eau on aura donc besoin d'un volume de solution mère de :

[1] On trouvera parfois des concentrations de chlore exprimées en degrés chlorométrique. Cette unité peu maniable correspond à : "en litres de *(di)*chlore sec, à 0°C et sous une pression de 1 bar le pouvoir oxydant de un litre d'eau ou extrait de Javel à 20°C. Un litre de *(di)*chlore gazeux à 0°C et sous une pression de 1 bar pèse 3,17 grammes. » donc une concentration de chlore de 1% = 3,15 °Cl

[2] Le chlore actif est la part d'un composé chloré participant effectivement à la chloration. Elle est par exemple de 65 % pour du chlore en grains (HTH) à 65 %, représentant alors 650 g pour 1 kg de « produit », ou de 10% pour du chlore liquide à 10%, représentant alors 100 ml pour 1 litre de solution. Lorsqu'une solution mère est préparée, sa concentration se calcule par rapport à la part de chlore actif présente dans un produit et non par rapport au poids ou au volume total de ce dernier.

$$Vm = (Cf \times Vf) / Cm = (0{,}0005 \times 10) / 2 = 0{,}0025 Lou 2{,}5 mL$$

Autre exemple : on souhaite traiter une eau brute à une concentration finale de 2 mg/L, pour une source qui délivre 2000 L d'eau par jour. La solution mère de chlore que l'on utilise est à 0,2% de chlore actif :

$$Vm = (Cf \times Vf) / Cm = (0{,}002 \times 2000) / 0{,}2 = 2L$$

On doit donc utiliser 2 L de solution B chaque jour.

4.2. Chloration par pompe doseuse

Différents modèles de pompes doseuses existent, mais elles ne pourront être mises en place que si leurs conditions d'utilisation sont applicables en Haïti (en particulier température et humidité relative), et si un entretien très régulier est possible à mettre en place. Les prescriptions du fournisseur devront être consultées avant mise en œuvre de la pompe.

On se réfèrera à la Fiche Technique relative aux Postes de chloration : Chloration par pompe doseuse (1.2.2 FIT1).

4.2.1. Avantages :

- La possibilité d'asservir le débit de chlore au débit d'eau à traiter
- La possibilité de délivrer un débit de chlore très précis
- La présence d'une personne assurant le fonctionnement de la chloration est moins fréquente que pour une chloration au bokit
- La possibilité d'injecter la solution dans une conduite sous pression

4.2.2. Inconvénients :

- La nécessité d'un entretien très régulier ; sans un entretien fréquent (hebdomadaire par exemple) une pompe doseuse sera en panne et donc totalement inopérante
- La nécessité d'une surveillance régulière de la pompe et du bac de solution mère
- L'obligation d'avoir du courant électrique à disposition en permanence (l'utilisation de panneaux solaires couplés à une batterie peut diminuer cette contrainte)
- Risques de bouchage des conduites de la pompe par les dépôts de sels de la solution de chlore ce qui entraîne un entretien fréquent
- Le réglage d'une pompe peut parfois être assez complexe et nécessite des compétences d'un technicien spécialisé

4.3. Chloration au « drum »

Le système de chloration par drum demande un minimum d'entretien, et est d'une réalisation très simple. Il s'agit d'un fût plastique de 200 L par exemple- qui ne doit en aucun cas être métallique, ceci ayant pour effet de neutraliser le chlore - sur la paroi latérale duquel un robinet plastique a été posé, et qu'on laissera entrouvert de façon à laisser couler en permanence un filet de solution chlorée. Avec ce type de chloration, **le dosage, très imprécis, va diminuer dans le temps**, soit à cause du colmatage des conduites/robinet, soit parce que le niveau de solution dans le drum diminue, influant sur la pression au robinet et donc le débit de solution. Il faut toutefois noter qu'un dosage de chlore, même imprécis reste meilleur que pas de désinfection du tout (par exemple parce que l'alimentation en solu-

tion de chlore n'est pas régulière ou parce que la pompe est en panne). Cependant ce type de dispositifs de chloration très rudimentaire, s'il peut être installé en « urgence » et pendant des périodes courtes, ne constitue pas une solution de long terme et doit donc être remplacé par des dispositifs assurant une meilleure efficience du traitement (chloration au seau, hypochlorateur ou pompe doseuse).

4.3.1. Matériel nécessaire

- Drum d'un volume adapté
- Robinet plastique uniquement (le chlore corrode le métal)
- Joint d'étanchéité

4.3.2. Fabrication

- Prendre le drum et effectuer un trou à environ 5 cm de la base du drum
- Poser le robinet dans le trou effectué
- Mettre un joint de façon à ce que le système Drum - robinet n'ait pas de fuite..

4.3.3. Usage

Il suffit de régler le débit en ouvrant et en fermant plus ou moins le robinet de sortie du drum.

Lors de l'ouverture du drum et de son remplissage, s'il n'y a pas d'odeur de chlore, on peut en déduire que le système est inefficace parce qu'il n'y a pas de chlore ! Il faut alors préparer une nouvelle solution mère ou aller en chercher d'autre. Un contrôle de la qualité de la solution préparée par mesure du chlore total doit être effectué avant de l'utiliser.

Le réglage doit se faire approximativement d'abord, en utilisant les calculs prévus dans le paragraphe 4.1 : Calculs de débit de solution de chlore, puis plus finement, en vérifiant le taux de chlore résiduel présent dans l'eau de sortie (voir paragraphe 4.7:).

On doit prendre soin de bien vérifier que le taux de chlore libre de l'eau traitée est bon en effectuant des mesures de chlore résiduel tous les jours.

4.3.4. Entretien

Le drum de solution de chlore doit contenir de la solution en permanence. Cela suppose un remplissage quotidien, voire plusieurs fois par jour (à adapter selon débit). **La présence d'une personne en charge du contrôle et du remplissage de la solution de chlore est donc indispensable**.

Contrôle de l'état de fonctionnement hebdomadaire :

- vérifier que le drum ne fuit pas ; si c'est le cas, colmater la fuite avec du joint, ou changer le drum si ça n'est pas faisable
- vérifier que le pourtour du robinet ne fuit pas ; si c'est le cas, enlever le robinet, éliminer le joint précédent, remonter le robinet et rejointoyer
- rincer le drum avec de l'eau propre et le vider. Eventuellement mettre quelques litres d'une solution acide (vinaigre blanc par exemple) et laisser couler par le robinet pour nettoyer d'éventuels dépôts calcaires.

4.4. Chloration au seau

Le principe de la chloration au seau (en plastique) est de déverser à intervalles réguliers, ou lorsque que l'on souhaite consommer de l'eau, un seau contenant du chlore dans un réservoir préalablement fermé. Il s'agit donc d'une chloration par bâchées.

Ce dosage ne s'adapte donc pas au débit d'eau brute. La chloration au seau ne pourra être utilisée que si l'on déverse le seau dans un réservoir fermé - la distribution d'eau sera alors discontinue (cycles de remplissage, chloration, attente de 30 minutes, distribution, puis re-remplissage, etc.) - ou dans le cas d'un réservoir cloisonné dont on remplit une partie, puis qui une fois pleine est fermée, de façon à ménager un temps de contact de 30 minutes.
Si ces conditions ne sont pas respectées, la chloration au seau ne peut pas être utilisée ou seulement en cas d'urgence (par exemple lors d'une flambée de choléra) en attendant qu'un dispositif permettant une chloration continue (hypochlorateur ou pompe doseuse) soit mis en place.

Elle consiste à déverser à l'aide d'un seau dans un réservoir une certaine quantité de solution de chlore.

Cette quantité est définie comme suit (On pourra également se servir de la formule définie au 4.1.):

$$V = \frac{C_f \times V_a}{10 \times C_m}$$

Avec :

- V, le volume de solution de chlore à ajouter à l'eau à traiter en millilitres
- C_f, la concentration à atteindre dans l'eau à traiter, en milligrammes par litre
- V_a, le volume d'eau à traiter, en litres
- C_m, la concentration de la solution de chlore à ajouter, en %

Exemple 1 : on veut traiter un réservoir de 5 000 L avec de la solution B (0,2 %)

V = (5 x 5000) / (10 x 0,2)
V = 12 500 mL, soit 12,5 L.

On mettra dans le seau 12, 5 L de solution B.

Rappel : 1 gallon = 3.78 L, 1 cup = 0.25 L

3 gallons = 11.34 L
5 cups = 1.25 L

On mettra dans le seau 3 gallons et 5 cups environ.
Exemple 2 : on veut traiter un réservoir de 7,5 m^3 avec de la solution A (2 %)
V = (5 x 7500) / (10 x 2)
V = 1875 mL, soit 1.875 L.

On mettra dans le seau 1.875 L de solution A.

Rappel : 1 gallon = 3.78 L, 1 cup = 0.25 L, on mettra donc dans le seau un demi gallon de solution A.

Cette pratique suppose de préparer des solutions plusieurs fois par jour et de manipuler l'ouverture/fermeture du réservoir fréquemment. **La présence d'une personne à temps plein est donc indispensable** : en l'absence de cette personne (où si les solutions préparées sont non-conformes), l'eau délivrée ne pourrait pas être chlorée et ne saurait donc pas être qualifiée de potable.

4.5. Modèle d'hypochlorateur[3] développépar la DINEPA

La DINEPA a développé un modèle d'hypochlorateur (voir photo de couverture). Ce dispositif de dosage du chlore fonctionne sur les principes suivants :

- injection à débit constant de la solution chlorée même lorsque le niveau de solution dans le bac de solution mère de chlore varie
- concentration de la solution chlorée calculée en fonction du débit d'eau brute
- le chlore doit être mélangé dans l'eau brute et avoir un temps de contact de 30 minutes. Ce dispositif doit donc se situer à l'aplomb d'une source ou d' un réservoir
- le dispositif peut être construit localement avec des pièces accessibles sur le marché haïtien ; il est rustique, simple d'utilisation et d'entretien
- une solution mère produite à partir de chlore solide en grains est adaptée à ce dispositif, le risque de bouchage étant plus faible qu'avec une pompe doseuse.

Toutefois, si ce dispositif est simple, il requiert une technicité et un savoir faire pour la fabrication du dispositif lui-même et son installation. La fabrication du dispositif fera donc l'objet d'une filière de production rigoureuse et garantissant des standards de qualité. L'installation des dispositifs eux-mêmes sera aussi confiée à des techniciens formés, équipés et agréés par la DINEPA..
On se réfèrera à la DINEPA pour plus d'informations sur ce dispositif.

4.6. Calculs de débit de solution de chlore

Le volume de solution de chlore à mettre dans l'eau est défini par la formule suivante :

$$V = \frac{C_f \times V_a}{10 \times C_m}$$

Avec :

- V, le volume de solution de chlore à ajouter à l'eau à traiter en millilitres
- C_f, la concentration à atteindre dans l'eau à traiter, en milligrammes par litre
- V_a, le volume d'eau à traiter, en litres
- C_m, la concentration de la solution de chlore à ajouter, en %

Exemple : on a besoin de traiter 10 000 litres d'eau par jour, on utilise une solution de chlore à 2%, on veut ajouter 5mg/L de chlore à notre eau. Le volume de solution à ajouter sur 24 heures est donc :
$V = \frac{5 \times 10000}{10 \times 2} \approx 2500mL$. (Soit 10 cups environ)

Cela représente un débit de 104,2 mL/h. (Environ 2/5 de cup, un peu moins de la moitié)

On pourra également se servir de la formule définie au 4.1.

4.7. Le dosage du chlore résiduel

De façon à être bien certain que l'eau a été traitée correctement, un dosage du chlore libre doit être fait régulièrement (au moins une fois par semaine mais le plus souvent tous les jours). Les taux ac-

[3] On parle d'hypochlorateur pour les dispositifs de dosage de l'ion **hypochlorite** (ClO^-)

ceptables de chlore résiduel sont situés entre 0,5 et 1 mg/L. Si le taux de chlore libre est trop élevé, on peut diminuer la quantité de chlore que l'on ajoute à l'eau, et s'il est trop bas, on augmente le débit du poste de dosage ou la quantité de chlore que l'on ajoute à l'eau

La vérification du taux de chlore résiduel peut être effectuée par méthode colorimétrique (pool tester), simple et rapide à mettre en œuvre, utilisant un testeur de chlore et un produit chimique appelé diéthylparaphénylènediamine (DPD). Pour mesurer le chlore libre on utilise le DPD1 (uniquement le DPD1, qui mesure le chlore libre, le DPD3 mesure le chlore total et n'est pas utile dans ce cas).

Mode opératoire :

- Rincer le testeur 3 fois avec l'eau à tester
- Remplir le testeur avec l'eau à tester
- Mettre une tablette de DPD1 dans le testeur
- Refermer le testeur
- Agiter 20 secondes
- Lire le résultat à la lumière dans les 60 secondes en comparant la couleur du liquide avec un étalon de couleurs.

Le chlore résiduel maximal pour de l'eau de boisson est de 2 mg/L, et le chlore résiduel minimal est de 0,5 mg/L.

5. Désinfection aux ultraviolets

5.1. Principe

La désinfection aux ultraviolets (UV) fonctionne en visant le matériel génétique des cellules qui sont soumises à un rayonnement suffisant, empêchant ainsi leur reproduction. Elle permet l'inactivation des différents microorganismes présents dans l'eau à traiter.

5.2. Avantages/inconvénients

5.2.1. Avantages:

- Elimination des kystes ou des parasites (contrairement au chlore)
- Pas d'utilisation de produits chimiques (ou réduction de l'utilisation de produits chlorés lorsqu'on a recours à la désinfection par traitement UV)
- Pas de production connue de sous produits chimiques
- Système facile à installer, à utiliser et à entretenir
- Exploitation peu coûteuse
- Temps de contact faible, inférieur à une minute
- Etant donné que l'installation se fait directement sur un élément de canalisation, l'emprise au sol de ce type de traitement est très faible

5.2.2. Inconvénients:

- Besoin d'électricité de manière continue : sans courant, pas de traitement possible
- Pas de capacité désinfectante résiduelle durant le stockage ou dans le réseau de distribution (contrairement au chlore), besoin d'un ajout de chlore en complément
- La qualité de l'eau (turbidité, couleur) peut affecter sérieusement la capacité de désinfection
- De très fortes doses d'UV sont requises pour inactiver les virus
- Un prétraitement ou une préfiltration peuvent être nécessaires pour réduire la turbidité de l'eau brute

5.3. Recommandations minimales

De façon à avoir un traitement optimal, il est recommandé de filtrer l'eau en amont. Mieux elle sera filtrée, mieux le traitement pourra s'opérer. Une dose de rayonnement UV minimale de 16 mWs/cm^2 au point le plus éloigné des lampes dans la chambre de traitement est requise.

La turbidité devra être inférieure à 1 NTU, la teneur en calcium et en magnésium devra être inférieure à 120 mg/L, la teneur en fer devra être inférieur à 0,3 mg/L, la teneur en manganèse inférieure à 0,1 mg/L. Un contrôle de la qualité de l'eau à la mise en place du point d'eau et chaque année est donc nécessaire. Si la teneur en calcium/magnésium est supérieure à la valeur recommandée, un nettoyage hebdomadaire des lampes UV avec un acide (vinaigre blanc par exemple) sera nécessaire.

La transmittance UV est une mesure du pourcentage de transmission de la lumière UV, elle est par conséquent un indicateur de l'efficacité que peut avoir la lampe UV. Il est recommandé que la transmittance UV de l'eau à traiter dépasse 75 %.

Il est recommandé de limiter la désinfection par rayonnement UV au traitement de l'eau dont la turbidité est inférieure à 1 NTU. Un contrôle de la turbidité journalier pour les stations ayant du personnel résident est nécessaire. Dans le cas de stations n'ayant pas de personnel résident, un contrôle hebdomadaire est obligatoire.

Ce type de traitement aura besoin d'électricité en permanence. Il faudra donc prévoir au minimum une source de courant autonome pour l'installation, que ce soit un groupe électrogène ou des panneaux solaires avec batteries.

Dans tous les cas, les UV nécessitant de fortes doses pour éliminer les virus, et n'ayant pas d'effet rémanent, il est recommandé d'ajouter un peu de chlore après le traitement aux UV.

5.4. Entretien et précautions d'usage

L'entretien à fournir est minimal : on se contentera de détartrer les surfaces entartrées avec un acide (vinaigre blanc par exemple), et de vérifier que les lampes fonctionnent bien, pour les remplacer si elles sont éteintes.

Précautions d'usage : Attention, les UV à forte dose ne sont pas bons pour la santé, le port de vêtements couvrants protecteurs, de gants, et d'un masque de protection intégrant des lunettes couvrantes seront nécessaires pour tout changement de lampe, au cas où elles seraient rallumées avant la fin du remplacement.

6. Désinfection à l'ozone

6.1. Principe

La désinfection à l'ozone est une méthode chimique de désinfection. Ce sont les molécules d'ozone qui attaquent et détruisent directement les molécules organiques, ou les radicaux OH créés par réaction de l'ozone sur les matières présentes.

6.2. Avantages/inconvénients

6.2.1. Avantages:

- Oxydation de la matière organique selon les mêmes mécanismes chimiques que le chlore réduisant ainsi la formation de sous-produits chlorés, tels les trihalométhanes, lors de la chloration
- Destruction de la micropollution organique telle les cyanotoxines, les goûts et les odeurs
- Inactivation avec efficacité des bactéries, des virus et des kystes
- Temps de contact moindres que ceux du chlore (extrêmement faibles par exemple pour *Cryptosporidium*)
- En combinaison avec un traitement au chlore, ce traitement diminue les quantités de chlore nécessaires, agissant de la même façon

6.2.2. Inconvénients:

- Coûts d'investissement élevés par rapport aux autres traitements
- Maintenance délicate, demandant un personnel spécifiquement formé et des pièces difficilement disponibles en Haïti
- Pas d'effet rémanent
- Demande du courant en permanence
- L'efficacité décroît avec une augmentation du pH ou de la température : on aura 2 fois moins de dissolution pour une eau à 35°, comparée à ce qui se dissout dans une eau à 15°.

6.3. Entretien

C'est le point délicat de la désinfection à l'ozone : il existe plusieurs sortes de dispositifs, tous de constructeurs différents, et tous demanderont une main d'œuvre très qualifiée pour toute réparation ou remplacement. Une vérification du bon fonctionnement du matériel sera dans tous les cas nécessaire chaque semaine.

7. Sources

ACF, (2007), *Eau Assainissement hygiène pour les populations à risque,* 2e édition

DINEPA, (Avril 2012), *Recommandations de la DINEPA sur l'utilisation du chlore produit par électrolyse avec les appareils WATA*

8. Lexique

Créole	Français	Anglais
Galon	Bidon de contenance 3.78 l	Gallon
Bokit	Seau (contenance 20 l = 5 gallons)	Bucket
Drum	Fût métallique ou plastique (200 l)	Drum
Cup	Gobelet plastique (0.25 L)	Cup

Rappel :

1° chlorométrique = 3,17 g de chlore actif par litre
(donc : eau de Javel à 47°-->150 g/l [Cl] ; eau de Javel à 12°--> 36 g/l [Cl])

Par chlore actif on entend l'ion hypochlorite et l'acide hypochloreux.

UNT ou NTU est l'unité néphélométrique ou unité de turbidité. Elle mesure l'aspect « trouble » ou « transparent» d'une eau.

Annexe 1 : Formes de chlore présentes en Haïti

Le chlore en Haïti peut se trouver sous forme de départ liquide ou solide (JIF, Chlorox, ou hypochlorite de calcium – HTH). Pour la fabrication de solutions chlorée destinées à l'eau de boisson, on utilisera uniquement le HTH comme produit de base (l'eau de Javel industrielle ne répond pas aux critères nécessaires pour l'eau potable). On prépare à partir du chlore solide en poudre (HTH), 3 solutions, dites solutions A, B, et C.
La préparation de solution à partir d'eau de Javel industrielle est présentée ci après à titre seulement indicatif.
On peut également trouver le chlore sous forme de pastilles pour la chloration au bokit, ou dans des réservoirs plus grands, avec les pastilles de chlore, par exemple « Aquatabs ». Ces produits sont prévus pour le traitement de l'eau à domicile. Se référer au Fascicule Technique relatif au Traitement de l'eau à domicile (1.1.1 FAT1).

- Préparation de 1 litre de solution de Chlore à 2% (solution A pour désinfecter les selles et les vomissements des patients, les cadavres et les semelles des chaussures en cas de choléra)

Source de Chlore	% Chlore disponible	Quantité requise	Mesure approximative
JIF ou Chlorox	4	0.5 L	2 cups en plastique bien pleines
Hypochlorite de calcium (HTH)	65	30,8 g	4 cuillères en plastique rase

- Préparation de 10 litres de solution de Chlore à 0,2% (solution B pour la désinfection de tout le matériel, ou des sources d'eau)

Source de Chlore	% Chlore disponible	Quantité requise	Mesure approximative
Solution locale à 0,6 %	0.6	3.33 L	Un gallon presque rempli
Hypochlorite de calcium (HTH)	65	30,8 g	4 cuillères en plastique rase

- Préparation de 10 litres de solution de Chlore à 0,05% (solution C pour le lavage de mains ou pour la vaisselle)

Source de Chlore	% Chlore disponible	Quantité requise	Mesure approximative
Hypochlorite de calcium (HTH)	65	7,7 g	1 cuillère en plastique rase

Annexe 2 : Potabilisation d'eau

Dosage de Chlore par volume (5 mg / L, préconisation Médecins Sans Frontière pour des eaux un peu troubles) :

Volume d'eau à désinfecter (L)	Quantité de solution à 2% (solution A) (mL) à ajouter à l'eau avant agitation	Quantité d' HTH 65% requise (g)
10	2.5	0.08
100	25	0.77
1,000	250	7.7
10,000	2500	77

Cela correspond environ à 13 gouttes (5 gouttes pour 1 mL) de solution STOCK pour 10 litres d'eau à traiter, soit 1.3 gouttes pour 1 litre. Comme on ne peut pas mettre de demi-goutte, si l'on ne doit traiter qu'un litre d'eau, on arrondit à l'entier supérieur, on mettra donc 2 gouttes de solution A.

Formule de calcul de volume à ajouter :

$$V = \frac{C_f \times V_a}{10 \times C_m}$$

Avec :

- V, le volume de solution de chlore à ajouter à l'eau à traiter en millilitres
- C_f, la concentration à atteindre dans l'eau à traiter, en milligrammes par litre
- V_a, le volume d'eau à traiter, en litres
- C_m, la concentration de la solution de chlore à ajouter, en %

Si l'on utilise la solution A à 2 %, que l'on veut traiter 10 litres d'eau à 5mg/L, cela correspond à (5x10)/(10x2) = 2.5 mL, soit 12.5 gouttes, arrondies à 13 gouttes pour 10 litres d'eau à traiter.

On arrondit toujours le nombre de gouttes à l'entier supérieur (4,1 deviendrait 5, et 2,9 deviendrait 3, par exemple)

Il faut attendre 30 minutes avant de consommer l'eau.

Annexe 3 : Comparaison des dispositifs de désinfection existants en Haïti, extraits du rapport « Chloration de l'Eau des Systèmes d'Adduction en Eau Potable localisés dans le Milieu Rural en Haïti », DINEPA - Coopération Suisse, juin 2013

1 Chloration au seau

Cette technique est à ce jour la plus répandue en Haïti. Elle consiste simplement à verser à l'intérieur d'un réservoir contenant un volume d'eau connu, une quantité de solution chlorée qui aura été déterminée et préparéeau préalable.

Elle fut la première réponse d'urgence mise en œuvre lors de l'émergence du choléra à travers le pays. En particulier, lors de la première mission de la Coopération Suisse en soutien à la DINEPA (phase 1, octobre-novembre 2010), des formations ont été dispensées auprès d'opérateurs des SAEP afin qu'ils mettent immédiatement en œuvre cette chloration « rudimentaire ». Divers outils didactiques ont ainsi été élaborés et font encore aujourd'hui[4] référence (*voir Figure 1*)

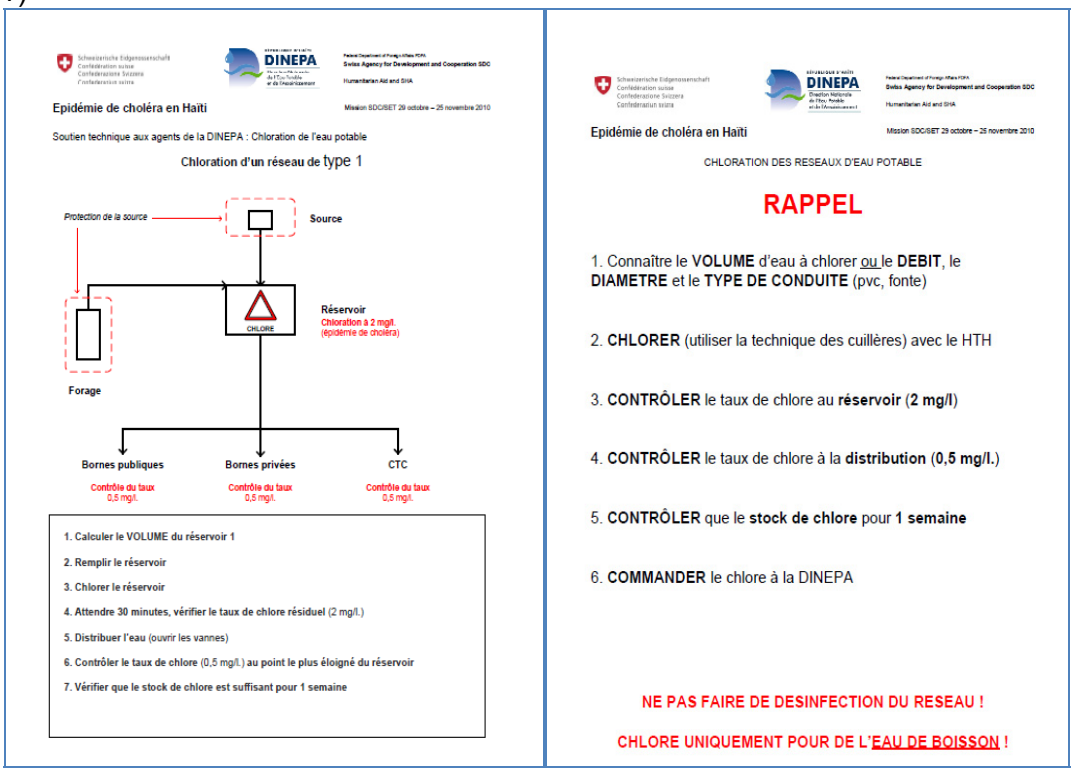


Figure 1 - Exemples d'outils destinés aux opérateurs de SAEP (Coopération Suisse - Novembre 2010)

Peu de technicité, un matériel rudimentaire (un seau et une cuillère), une adaptabilité à de nombreux types de réservoirs pourvu qu'ils soient dotés d'une trappe d'accès, la chloration au seau a été développée et promue par de nombreux acteurs en Haïti.

Cependant cette technique, bien que basique et ne demandant pas de technicité particulière, présente des limites importantes en particulier si le réservoir ne peut pas être isolé au moyen de vannes. En effet, si le réservoir n'est pas doté d'un mécanisme pouvant fermer son remplissage (by-pass, double compartiment, vanne d'arrêt, etc.), la chloration sera toujours imprécise et sujette à des variations. Hélas, la plupart des réservoirs construits en milieu rural ne sont pas doté

[4] Epidémie de choléra en Haïti – Mission d'évaluation et de soutien technique à la DINEPA, Groupe WES, Novembre 2010

de tels systèmes. Dans ces cas-là, la chloration au seau devra être considérée comme une option transitoire ou une solution d'urgence mais ne pourra être envisagée sur le long terme. Par contre, si le réservoir peut effectivement être isolé, la chloration au seau peut être considérée comme une méthode simple mais fiable qui peut être réalisée en routine par des opérateurs ruraux (*voir Figure 2*) :

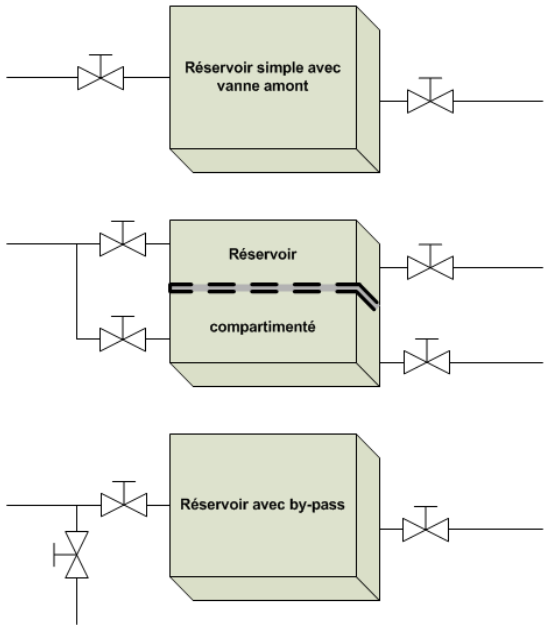
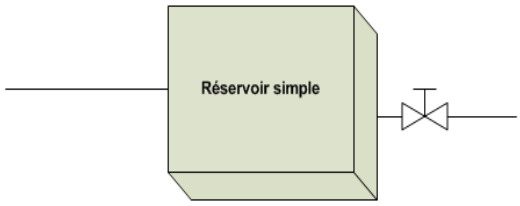
CAS FAVORABLES	CAS DEFAVORABLES
	- Absence de réservoir en amont de la distribution ; - Réservoir simple sans vanne d'isolement amont : 

Figure 2 - Cas favorables et défavorables à la chloration au seau

2 Chlorinateur

Le chlorinateur est un dispositifde traitement monté en ligne ou en by-pass sur un circuit hydraulique, permettant, grâce au flux d'eau le traversant, la diffusion lente et régulière du chlore dans l'eau (*voir Figure 3*). Il fonctionne et se recharge uniquement avec du chlore en tablettes.

Figure 3-Chlorinateurs des Chardonnières, département du Sud (à gauche) et d'Anse à Veau, département des Nippes (à droite)

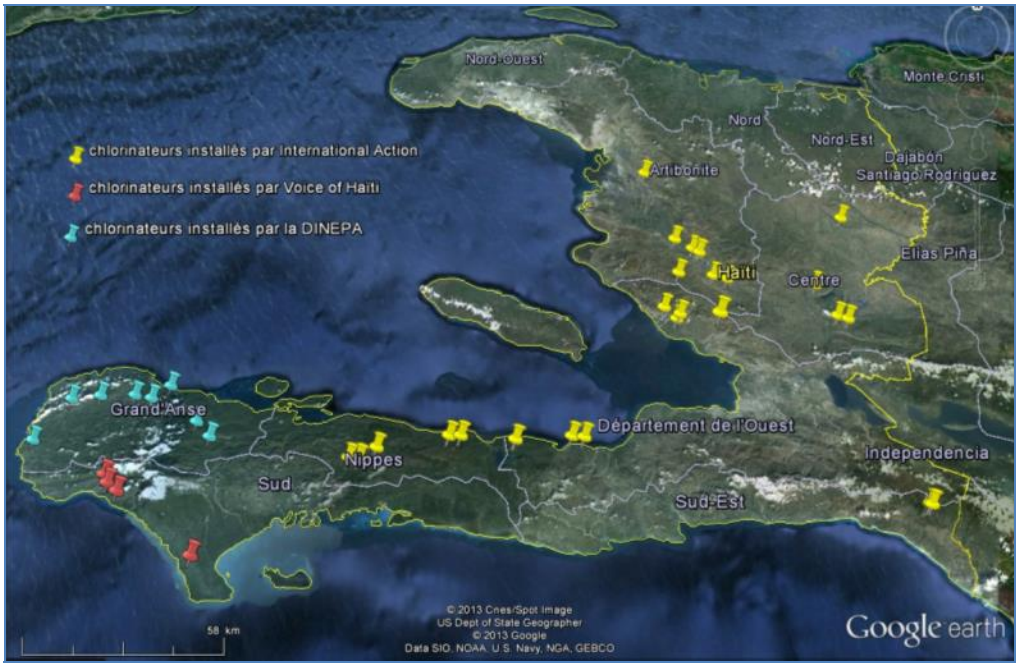


Figure 4 - Chlorinateursinstallés en Haïti (*hors région métropolitaine de Port-au-Prince*)

Quarante cinq (45) SAEP ruraux équipés d'un chlorinateur sont recensés à travers le pays. Ils ont principalement été installés par International Action et Voici of Haiti (voir 2.1.3) mais aussi par la DINEPA dans le cadre du programme EPAR (*voir Figure 4*).

Le chlorinateur est relativement simple d'utilisation puisqu'une seule vanne installée en entrée permet de réguler le débit le tranversant (*voir Figure5*). Il suffit alors de s'assurer de la présence de tablettes de chlore dans le dispositif pour que la chloration soit effective. La maintenance de ce dispositif est très rudimentaire etpeut être ainsi réalisée par des opérateurs même peu formés.

Cependant, son montage s'avère plus complexe qu'il n'y paraît étant donné la nécessité de modifier la plomberie de réseau.En effet, comme le chlorinateur ne peut pas être monté en ligne si les débits sont trop importants, le montage en by-pass est privilégié.Mais ces interventions induisent parfois d'autres problèmes.

Citons le cas du SAEP de Janen (département de l'Artibonite) géré par un CAEPA soutenu par l'ONG Helvetas. Le débit étant trop important sur le réseau d'adduction du réservoir, un by-pass avec chlorinateur a été installé(*voir Figure19*) dans une chambre visitable. Cependant, en saison sèche, le débit étant trop faible, une vanne a été installée sur le réseau principal pour réduire le passage de l'eau et donc permettre que le by-pass soit lui aussi alimenté en eau. Cela induit donc une perte significative du volume capté, et impactenégativement la disponibilité en eau pour la communauté concernée.

Figure 5 - By-pass, chlorinateur et vanne de réduction du débit, SAEP de Janen, département de l'Artibonite

3 Hypochlorateur

Le principe de l'hypochlorateur est d'injecter à débit constant, via un système de goutte à goutte, une solution de chlore à l'intérieur d'un réservoir, d'une chambre d'accès à un réseau comme unbrise charge ou même d'un captage (*voir Figure 6*).Le débit d'injection et/ou la concentration de la solution chlorée sont déterminés en fonction du débit et de la qualité de l'eau à traiter.Les hypochlorateurssont :

- Economiques car fonctionnant sans énergie, utilisant des composés bon marché et du chlore en grains ;
- Fabriqués localement avec très peu de pièces devant être importées ;
- Pratiques car d'opération accessible à tous les opérateurs même peu formés et appropriés à une gamme large de SAEP et de débits ;
- Sans danger pour autant que les prescriptions liées à l'usage du chlore grains soient respectée.

Figure 6-Hypochlorateurs du SAEP de St Michel, département du Sud(à gauche) et du CTE de Hinche, département du Centre (à droite)

Ce dispositif de chloration a été introduit en Haïti depuis plusieurs années et nombres d'acteursont participé à leur installation :

→La DINEPA via le programmeEPAR notamment dans les départements du Sud et des Nippes ;

→Certains CTE comme ceux de St Marc, Hinche et Mirebalais qui, en réponse à l'épidémie de choléra ont installé des d'hypochlorateurs;

→ Les ONG dans le cadre de leurs projets de réhabilitation de SAEP ruraux ou des interventions post-choléra.

Un des intérêts majeurs de ce dispositif est sa disponibilité sur le marché haïtien puisque sa fabrication peut se faire localement à l'aide de pièces de plomberie courantes.

Parmi les inconvénients, on relèvera la nécessité d'ajuster manuellement le taux de traitement aux variations des débits captés induits par les variations de pluviométrie. Il est aussi à relever que l'hypochlorateur fonctionnant par gravité doit obligatoirement être installé au-dessus de l'eau qu'il traite. Cela implique qu'il soit abrité à l'intérieur d'une petite construction sise au-dessus d'un réservoir, d'un brise-charge ou d'un captage et accessible via une échelle, un escalier ou une rampe. L'installation d'un hypochlorateur nécessite donc que ces éléments de génie civil soient pris en compte dans les études et les devis correspondants.

3.1 Hypochloration : Première étape vers la maîtrise de la chloration continue

L'hypochloration, aussi appelée « chloration goutte à goutte », est une technique déjà utilisée en Haïti. La majorité des hypochlorateurs ayant été installés dans le cadre du Programme EPAR, on retrouve pratiquement toujours le même modèle (*voir Figure 7*).

Lors des visites effectuées, même si la majorité des hypochlorateurs fonctionnaient, certains points pouvant être améliorés ont été relevés. Il s'agit :

- Des problèmes liés au système d'injection. En particulier, l'injection est facilement bouchée par des précipités de chlore en grains et aucune vanne ne permet de l'arrêter si nécessaire ;
- Des problèmes liés à l'agencement du local abritant le dispositif. En effet, l'écoulement gravitaire est parfois difficile, le nettoyage du bac contenant la solution est compliqué et l'espacement disponible est limité ;
- Des problèmes liés à la méconnaissance du dispositif par les opérateurs qui ne disposent pas de guide d'utilisation, ni d'outil didactique.

Figure 7 - Hypochlorateur installé en Haïti (à gauche) et hypochlorateur amélioré (droite) développé dans le cadre de la présente mission d'expertise

Prenant en compte les constats effectués lors des visites, un nouveau modèle a été étudié et développé (*voir Figure 7*).

Les **améliorations techniques** suivantes ont été apportées au dispositif :

→ 1 : Un support métallique traité antirouille et surélevé de 40 centimètres permet de faciliter les contrôles du débit d'injection ;

→ 2 : Un récipient de 55 gallons (= 208 Litres)non issu de la récupération et fabriqué en Haïti offre les garanties en terme de qualité et de disponibilité;

→ 3 : Un système d'injection facilement démontable et doté d'une vanne d'arrêt facilite l'usage et l'entretien du dispositif ;

→ 4 : Un système de vidange démontable garantit la « fraicheur » de la solution préparée.

Il est à noter que tous les éléments constituant le dispositif sont communément disponibles sur le marché haïtien et choisis en fonction de leur résistance à l'oxydation. De plus, étant donné la faible technicité de la plomberie, le montage, la maintenance et/ou la réparation du dispoitif pourront être réalisés par de la main d'œuvre locale.

Afin d'assurer une chloration continue (sans interruption) et considérant le temps nécessaire de à la bonne préparation de la solution chlorée[5] (remplissage du récipient + dosage et dissolution du chlore en grains), il est impératif d'installer deux (02) hypochlorateurs qui fonctionneront alternativement un jour sur l'autre. Cependant, les systèmes de vidange pourront être couplés pour n'avoir qu'une seule sortie du local de chloration mais chaque hypochlorateur aura sa propre vanne de vidange.

En complément des améliorations techniques présentées, une **amélioration** importante a été apportée à la **gestion de l'hypochlorateur**. En effet jusqu'ici, le fonctionnement de ce type de

[5] L'expérience acquise par l'opérateur du CTE de Saint-Marc recommande une durée de préparation de la solution d'au moins 6 heures

dispositifs impliquait la préparation d'une solution chlorée de concentration donnée (le plus souvent, une solution de 1%) qui demandait à ce que le débit d'injection soit ajusté au débit d'eau à traiter (correspondant communément au débit de remplissage du réservoir). Or ces réglages du débit d'injection sont délicats et sources d'erreurs, et les injecteurs sujets à obstruction surtout pour de faibles débits d'injection. Par souci d'harmonisation et étant donné la grande variété des débits des sources alimentant les SAEP ruraux, il a été envisagé de pouvoir travailler avec un **débit d'injection unique et constant** de la solution chlorée. Cette condition implique alors de faire varier les concentrations des solutions chlorées en fonction des débits d'eau à traiter.
Enfin, il est envisagé d'**améliorer et d'harmoniser les fréquences de passage** de l'opérateur au niveau du local de chloration. Ainsi le processus de désinfection de l'eau a été « calibré » de manière à ce qu'il implique l'intervention de l'opérateur une fois par jour. En effet, il a été vérifié que l'utilisation d'hypochlorateurs basé sur des interventions non quotidiennes (chaque 2 jours, 3 jours, semaine, etc.) n'est pas suivie scrupuleusement et induit alors des erreurs ou des périodes sans chloration. A contrario, il a été constaté que la présence d'un opérateur plus fois pour jour est extrêmement contraignante pour ce dernier. Ainsi, une fréquence quotidienne d'intervention et de passage de l'opérateur au niveau du local de chloration apparaît comme étant le meilleur compromis entre l'efficience et la faisabilité du traitement.

4 Injection Venturi

L'injection Venturi nomme un effet physique grâce auquel le resserrement d'une conduite où circule de l'eau provoque l'accélération de son écoulement et une dépression au niveau de l'étranglement. Un tuyau secondaire branché dans cet étranglement permet pomper et d'injecter une solution chlorée directement dans l'écoulement sous pression (*voir Figure 8*)

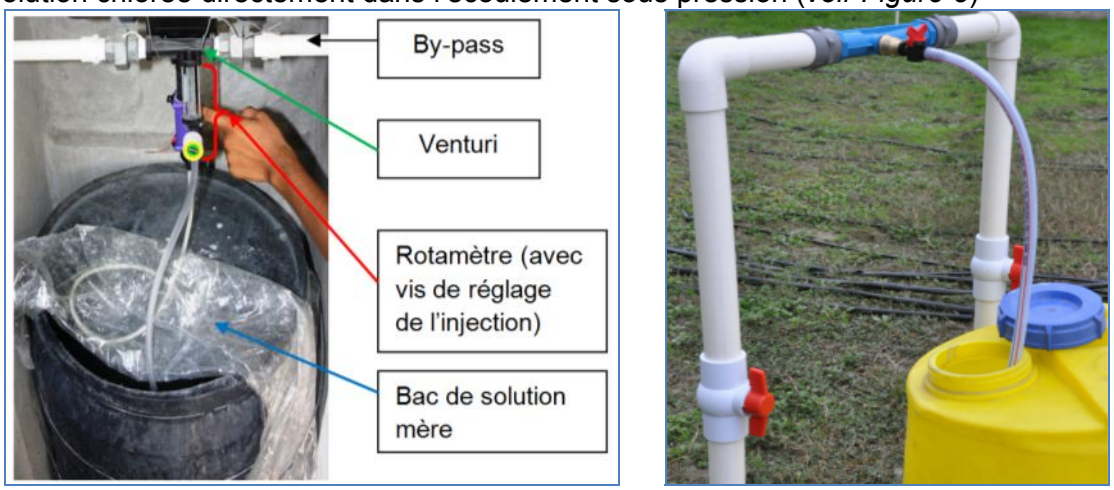


Figure 8-Injection Venturi au SAEP de Valeureu, département de l'Artibonite (à gauche) etexemple issu d'internet(à droite)

Très simple d'utilisation etbon marché, les systèmes d'injection Venturi comportent malgré tout de nombreux inconvénients :

- → La nécessité d'avoir une conduite sous pression pour permettre la création d'unedépression et induire ainsil'aspiration de la solution chlorée ;
- → La nécessité de modification du réseau d'adduction du SAEP pour permettre l'installation d'un by-pass ;
- → La fragilité et le manque de fiabilité du système.

Depuis le début du mois de mai 2013, la Croix Rouge Françaiseprocède àl'essai de ce dispositif sur le SAEP de Valeureu (Commune de Verrettes, Département de l'Artibonite). Même s'il est

encore hâtif de tirer des conclusions générales sur l'utilisation de ce dispositif, une visite du SAEP de Valeureu a permis de mettre en lumière les inconvénients suivants :

- Nécessité de diminuer le débit d'entrée d'eau dans le réservoir en bridant la vanned'adduction afin de mettre en pression le by-pass. Dans le cas présent, le débit capté à l'origine de 6.19 L/s est ramené à 5.25 L/s, soit une perte d'un volume d'eau « utile » de 81 m³/24heures ;
- Fiabilité du rotamètre mise en cause. En effet, le tube gradué et la vanne de réglage sont très fragiles et laissent à penser qu'ils se dégraderont rapidement ;
- Nécessité d'effectuer des travaux important pour installer le by-pass et abriter le dispositif.

5 Pompe doseuse proportionnelle (hydromotricienne)

Installée sur un réseau d'eau,la pompe doseuse hydro-motrice proportionnelle permet d'injecter directementune solution chlorée liquide à l'intérieur du système. Ce doseur qui fonctionne sans électricité, utilise la pression de l'eau comme force motrice (*voir Figure 9*). Ainsi actionné, il aspire le produit concentré, le dose au pourcentage désiré,l'homogénéise avec l'eau motricedans sa chambre de mélange puis injecte la solution dans le système.
Une fois réglé, le doseur ne nécessite ni intervention, ni contrôle extérieur. Le dosage du produit injecté est constant, rigoureusement proportionnel au volume d'eau qui traverse le doseur, quelles que soient les variations de pression et de débit qui peuvent intervenir.
Ce dispositif est à monter en ligne ou via un by-pass (lorsque les débits sont trop importants).
Malgré l'intérêt porté à ce dispositif, il est nécessaire de prendre en compte :

→Son coût élevé ;
→ La technicité de l'opérateur exigée pour la maintenance de l'appareil ;
→ Le support d'un technicien extérieur pour le calibrage de l'appareil.

Figure9–Pompe doseuse proportionnelle du SAEP de Lesforges, département de l'Artibonite (à gauche) et exemple issu d'internet(à droite)

En Haïti, ce système a été utilisé par Médecins Sans Frontières[6] lors des urgences humanitaires faisant suite au séisme du 12 janvier 2010 et au déclanchement de l'épidémie de choléra. Cependant, aucun retour d'expériences n'est disponible.
Depuis le début du mois de mai 2013, la Croix Rouge Françaiseprocède à l'essai de ce dispositif sur lesSAEP de Valeureu et Lesforges (Département de l'Artibonite).
Même s'il encore hâtif de tirer des conclusions générales sur l'utilisation de ce dispositif, une visite des SAEP de Valeureu et Lesforges a permis de mettre en lumière les inconvénients suivants :

[6] Modèle Dosatron

- Nécessité de diminuer le débit d'entrée d'eau dans le réservoir en bridant la vanne d'adduction afin de mettre en pression le by-pass. Dans le cas présent, le débit capté à l'origine de 6.19 L/s est ramené à 4.84 L/s, soit une perte d'un volume d'eau « utile » de 116 m³/24heures*;*
- Sensibilité des réglages qui demandent une très bonne connaissance des pièces de régulation de débit ;
- Nécessité d'effectuer des travaux important pour installer le by-pass et abriter le dispositif.

6 Pompe doseuse électrique

Les pompes doseuses à membrane possèdent par rapport aux autres types de pompes un ensemble d'avantages remarquables. Elles sont auto-amorçantes et peuvent donc pomper de l'air. La construction simple de ce type de pompes permet, en outre, son utilisation sur une très longue période sans entretien. Enfin, les pompes doseuses à membrane se caractérisent par une grande précision du dosage effectué.

Quatre (04) SAEP urbainsdisposent à ce jour de ce type de dispositif. Il s'agit de :

→CTE de Port-au-Prince (alimenté par EDH) ;
→CTE de Port-de-Paix (alimenté par énergie solaire – *voir Figure 10*) ;
→CTE Petit Goâve (alimenté par EDH – *voir Figure 10*) ;
→CTE de Jacmel (alimenté par énergie solaire).

Nécessitant une source d'énergie constante et un assujettissement du débit d'injection de la pompe au débit de réseau (via un compteur à impulsions ou une sonde redox installée en aval de l'injection), ce dispositif nécessite uncoût d'investissement important et un service de maintenance qualifié.

Ces systèmes, bien que le plus fiables, ne peuvent pas être généralisés au niveau des SAEP ruraux mais semblent pas contre adaptés aux systèmes urbains gérés par des CTE.

Figure 10- Pompe doseuse électrique (solaire) du CTE de Port-de-Paix, département du Nord Ouest(à gauche) et pompe doseuse électrique (EDH) du CTE de Petit Goâve, département de l'Ouest(à droite)

7 Tableau comparatif et conclusions

Les avantages et inconvénients des divers dispositifs de chloration analysés sont énumérés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 -Comparaison des divers dispositifs de chloration analyséset recommandations

Dispositif de chloration	DISPONIBILITE	COUT	ROBUSTESSE	FIABILITE	PRECISION DES REGLAGES	TECHNICITE DE LA MAINTENANCE	Expériences en Haiti
Chloration au seau dans le réservoir	++	++	++	-	-	++	CPE, CAEPA, ONG
Chlorinateur	-	+	++	+	-	++	CAEPA, International Action, Voice of Haiti, Helvetas, etc.
Hypochlorateur	++	+	++	+	+	++	CTE, CAEPA, SESAM, etc.
Injecteur Venturi	+	+	-	N/A	N/A	+	1 seul dispositif installé par la CRF en Artibonite
Pompe doseuse proportionnelle(hydromotricienne)	+	-	+	++	++	-	MSF, CRF
Pompe poseuse électrique	+	--	+	++	++	-	CTE Port-de-Paix, Petit Goave, Jacmel et Port au Prince

Légende du Tableau :

Dispositifs recommandés par la DINEPA

Dispositifs non recommandés par la DINEPA - Les dispositifs existants sont maintenus mais pourront être remplacés

Dispositifs non recommandés par la DINEPA – Les dispositifs existants devront être remplacés

La comparaison des différents dispositifs de chlorationpermet de recommander, non pas un système unique qui devrait être adapté sur tous les réseaux ruraux mais plusieurs équipements qui seront choisis en fonction des spécificités[7] d'un SAEP. Ces différentes technologies recommandées, de la plus rudimentaire à la plus perfectionnée, peuvent aussi faire partie d'un processus évolutif (*voir Figure 11*) où, en fonction des performances de l'opérateur, des dispositifs plus « technologiques » (et plus cher !) pourront remplacer des installations plus simples.

Les dispositifs et méthodes ainsi recommandés qui requièrent tous l'utilisation de chlore en grains (*voir Tableau 1*) sont les suivants :

[7] Certains SAEP sont équipés d'un réservoir, d'autres de plusieurs, d'autres encore n'en ont pas ; les débits de sources captés en Haïti varient de 0.5 l/s à 30 l/s.

1. Chloration au seau dans le réservoir.
   Cette technique rudimentaire est parfaitement adaptée si le réservoir peut être isolé. Elle est en particulier recommandée pour les SAEP dont la distribution n'est pas continue mais a lieu seulement à intervalles réguliers lorsque le réservoir est plein. Une méthodologie et des outils propres à ce type de chloration ont été développés.
2. Hypochlorateur.
   Ces dispositifs sont les plus adaptés aux SAEP ruraux. Ils ont fait l'objet d'une importante recherche et de tests.
3. Pompe doseuse proportionnelle.
   Ce type de pompe fait partie des options retenues. Cependant, la généralisation de son usage dépendra d'abord des résultats des expériences en cours conduites par la Croix-Rouge Française[8].
4. Pompe doseuse électrique.
   Ce type de pompe présente des avantages indéniables. Cependant, elle paraît plus adaptée, de par sa technicité, à des SAEP urbains que ruraux.

Par contre, l'installation de chlorinateurs ou d'injecteurs Venturi, n'est pas recommandée pour le traitement de l'eau des SAEP ruraux. Les premiers fond appel à du chlore en tablettes qui n'est pas le produit de traitement recommandés et les deuxièmes ne présentent pas suffisamment de garanties en matière de fiabilité.
Le choix d'un dispositif de chloration dépendra non seulement des caractéristiques physiques d'un SAEP mais aussi de la capacité des opérateurs locaux (CAEPA ou OP) à utiliser et entretenirun système donné. Ainsi l'installation d'un dispositif de chloration au niveau d'un SAEP rural sera obligatoirement encadrée par la DINEPA et accompagnée de la mise en place du suivi des indicateurs de performance du SAEP en question. En particulier, le suivi du chlore résiduel via Sis-Klòrsera initié dès que le dispositif sera opérant.

[8] Après quelques mois d'utilisation et de tests, ce système a été jugé « peu adapté » car il est complexe, fragile, cher, difficile d'entretien par un opérateur et il nécessite de plus la réduction du débit de remplissage du réservoir.

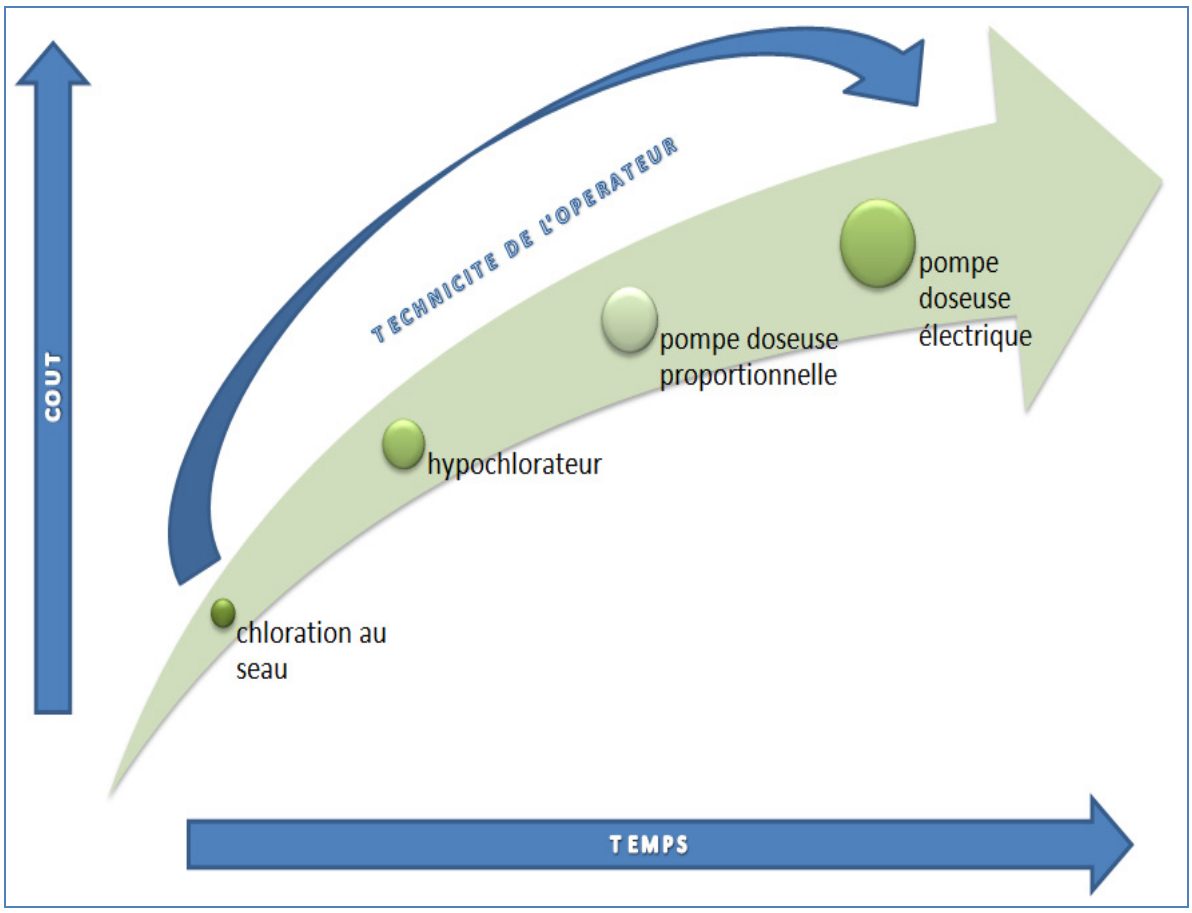


Figure 11- Evolution des solutions envisagées

Annexe 4 : Désinfection ponctuelle en situation d'urgence

Désinfection de puits dont les parois sont en maconnerie
La désinfection doit se faire juste après que le puits ait été creusé, ou en cas de présence de choléra (début d'épidémie par exemple).

Quantité de solution nécessaire : 60 litres (6 seaux) à 0,2 % de chlore au minimum (Solution B par exemple).
Mode opératoire :

- Frotter l'intérieur du puits à l'aide d'une brosse, en se servant de 30 litres (3 seaux) pour le nettoyage
- Verser le restant de la solution dans le puits
- Attendre 24 heures avant d'utiliser le puits

Les quantités dépendent du volume du puits.

Désinfection de forages
La désinfection doit se faire juste après que le forage ait été creusé, ou en cas de présence de choléra (début d'épidémie, par exemple).

Quantité de solution nécessaire : 20 litres (2 seaux) à 0,2 % de chlore (Solution B).
Mode opératoire :

- Verser les deux seaux dans le forage
- Utiliser la pompe jusqu'à ce que l'eau pompée commence à sentir le chlore
- Attendre 24 heures avant d'utiliser le forage et la pompe

On se réfèrera à la *Directive Technique Equipement de forage* (1.2.1 DIT5)

Désinfection de cuves de stockage
La désinfection doit se faire avant d'utiliser la cuve, ou en cas de présence de choléra (en début d'épidémie, ensuite l'eau sera chlorée normalement).

Quantité de solution : 30 litres (3 seaux) à 0,2 % de chlore minimum (solution B par exemple) pour le nettoyage, 30 litres pour la désinfection, dépendant de la taille de la cuve de stockage.

Mode opératoire :

- Frotter l'intérieur de la cuve de stockage en se servant généreusement des 3 premiers seaux de solution
- Rincer l'intérieur de la cuve avec de l'eau propre
- Remplir la cuve d'eau, et ajouter 30 litres (3 seaux) de solution à 0,2 % minimum (solution B par exemple)
- Attendre 24 heures
- Vider la cuve et la rincer avec de l'eau traitée

Désinfection de canalisations ou de tuyauterie : on se réfèrera à la *Directive Technique Suivi des chantiers AEP : Nettoyage / désinfection des réseaux d'eau potable* (5.1.3 DIT2)

Désinfection de camions-citernes
Elle doit se faire à la mise en service du camion-citerne, et à intervalles réguliers (tous les mois au minimum).

Mode opératoire :

- Pulvériser de la solution à 0,2 % de chlore minimum (solution B par exemple) sur les parois de la citerne
- Attendre 4 heures
- Rincer l'intérieur de la citerne avec de l'eau propre